DIE NATURWISSENSCHAFTEN

28. Jahrgang | 10. Mai 1940 | Heft 19

Interstellare Linienabsorption.

Von P. TEN BRUGGENCATE, Potsdam.

Man weiß schon seit langer Zeit, daß der Raum zwischen den Sternen nicht völlig leer ist. Die ersten Untersuchungen über physikalische Eigenschaften interstellarer Materie beziehen sich auf die Absorptionswirkung von Dunkelwolken in unserem Milchstraßensystem. Nach unserem heutigen Wissen bestehen diese aus kleinen Partikeln ganz verschiedener Größen, von denen die größten Teilchen eine abschattende Wirkung und die Teilchen von der Größenordnung der Wellenlänge des Lichts eine verfärbende Wirkung auf das Licht entfernter Sterne ausüben (1). Es ist sogar versucht worden, mit Hilfe der MIEschen Theorie über Streuung und Absorption von Licht an Metallpartikeln eine Aussage über die mittlere Teilchengröße dieser interstellaren Materie zu erhalten. Aber nicht alle interstellare Materie kommt in fester Form vor. Sehr viel später hat man erkannt, daß sich das Verhalten gewisser Absorptionslinien in Sternspektren nur verstehen läßt, wenn man die Linien einem mehr oder weniger gleichförmig im Milchstraßensystem verteilten interstellaren Gase zuschreibt.

1. Die mittlere Dichte der interstellaren Materie und des Strahlungsfeldes im interstellaren Raume. Es ist wichtig, sich zunächst eine Vorstellung zu machen von der mittleren Dichte der Materie und des Strahlungsfeldes im interstellaren Raum. Dazu genügen vorerst ganz rohe Abschätzungen. Aus den beobachteten Geschwindigkeiten der Sterne in der Sonnenumgebung, die durch das Potential des Gesamtsystems bestimmt sind, läßt sich eine rohe Aussage über die maximal zulässige Masse aller Materie im Raum machen. Eine solche Schätzung führt auf eine mittlere maximale Dichte in unserem Sternsystem von $6 \cdot 10^{-24}$ g/ccm. Die Materie, die in den Sternen konzentriert ist, dürfte davon ungefähr die Hälfte ausmachen, so daß mit einer mittleren Dichte im interstellaren Raume von der Größenordnung $3 \cdot 10^{-24}$ g/ccm zu rechnen ist. Schwieriger ist es zu entscheiden, welcher Anteil der interstellaren Materie auf feste Partikel und welcher Anteil auf gasförmige Materie entfällt. Aus der Rotverfärbung entfernter Sterne — nach den Beobachtungen muß der Absorptionskoeffizient ziemlich nahe umgekehrt proportional der Wellenlänge des Lichtes sein — kann man nicht nur auf die mittlere Teilchengröße von rund 10^{-5} cm schließen, sondern auch die mittlere Dichte dieser staubförmigen Materie abschätzen. Man gelangt so zu Werten von der Größenordnung 10^{-25} bis 10^{-26} g/ccm. Daraus folgt dann, daß der überwiegende Anteil der interstellaren Materie in gasförmigem Zustand vorhanden sein muß.

Aus der Anzahl von Sternen verschiedener Leuchtkräfte und verschiedener effektiver Temperatur und aus dem mittleren Abstand der Sterne in der Sonnenumgebung kann man eine Abschätzung über die Energiedichte und Intensitätsverteilung des von allen Sternen herrührenden interstellaren Strahlungsfeldes erhalten.

Tabelle 1. Verdünnte Hohlraumstrahlung im interstellaren Raume.

T in °	$\delta \cdot 10^{14}$	Energie %	T in °	$\delta \cdot 10^{14}$	Energie %
65000	0,00071	1,8	10000	8,99	13,1
49000	0,00159	1,3	6400	97,8	24,0
33000	0,00256	0,4	5000	122,8	11,2
23000	0,158	6,4	4400	67,1	3,7
16000	1,17	11,2	3700	985	26,9

Das Strahlungsfeld im interstellaren Raum (Tabelle 1) wird am besten durch das Zusammenwirken von Strahlungsquellen verschiedener Temperatur T (erste Spalte) und verschiedener Verdünnung δ (zweite Spalte) approximiert. Die Angaben der Tabelle 1 sind einer Arbeit von DUNHAM (2) entnommen und beziehen sich auf den Fall, daß keine kontinuierliche interstellare Absorption vorliegt. Man kann aus diesen Angaben die Energiedichte u'_λ des interstellaren Strahlungsfeldes für beliebige Wellenlängen ausrechnen durch Summation der entsprechenden Anteile $\delta \cdot u_\lambda(T)$ der einzelnen Quellen verschiedener Temperatur. Dabei bedeutet $u_\lambda(T)$ die Energiedichte der Hohlraumstrahlung bei der Temperatur T und der Wellenlänge λ, und δ den in Spalte 2 enthaltenen Verdünnungsfaktor. So findet man z. B. größenordnungsmäßig, daß die Energiedichte im interstellaren Raum für $\lambda = 4000$ Å nur das 10^{-14}fache der Energiedichte eines schwarzen Körpers von 10000° ausmacht. Für diese Wellenlänge beträgt der Verdünnungsfaktor δ also rund 10^{-14}.

Der interstellare Raum stellt somit für den Physiker ein Laboratorium mit einer derart geringen mittleren Materie- und Strahlungsdichte dar, wie sie sich unter irdischen Verhältnissen nie erreichen läßt. Die einzelnen Atome führen im interstellaren Raum ein weitgehend ungestörtes Leben. Denn es dauert mehrere Wochen, bis ein Atom mit einem anderen Teilchen zusammenstößt, und wegen der ungeheueren Verdünnung des Strahlungsfeldes wird ein Na-Atom nur einmal in 100 Jahren ein Lichtquant des ultravioletten Na-Dubletts λ 3303 und λ 3302 absorbieren.

2. Welche Atomlinien sind im Spektrum des interstellaren Raumes in Absorption zu erwarten? Wir wollen uns nun überlegen, welche Atomlinien überhaupt als Absorptionslinien im Spektrum des interstellaren Raumes zu erwarten sind. Da die

Atome und Ionen so äußerst selten durch Stoß oder Strahlungsabsorption gestört werden, erkennt man, daß nur solche Absorptionslinien zu erwarten sind, die vom Grundzustand eines Atoms oder Ions ausgehen. Denn Atome oder Ionen in angeregten Zuständen sind praktisch nicht vorhanden, da diese längst unter Ausstrahlung in den Grundzustand übergegangen, ehe ein passendes Lichtquant für einen Absorptionsakt zur Stelle ist. Weiter sind nur Linien von solchen Elementen zu erwarten, die verhältnismäßig häufig sind und bei denen nur wenige Linien vom Grundzustand ausgehen, damit die seltenen Absorptionsprozesse sich nicht noch auf eine große Zahl einzelner Linien verteilen. Schließlich wird noch das Ionisationspotential der vorkommenden Ionisationsstufe einen Einfluß auf die Beobachtbarkeit von Linien dieser Ionisationsstufe haben. Ein hohes Ionisationspotential wird nämlich eine Anreicherung der Atome in einer solchen Ionisationsstufe bewirken, und eine gleichmäßigere Verteilung der Atome auf mehrere Ionisationsstufen einschränken. Nach diesen Gesichtspunkten können die folgenden Linien im beobachtbaren Wellenlängenbereich zwischen 3000 Å und 10000 Å im Spektrum des interstellaren Raumes erwartet werden (2):

*Na I	3302, 3303, 5890, 5896
Al I	3944
*K I	7664, 7698
*Ca I	4226
*Ca II	3933, 3968
Sc II	3642 usw.
*Ti II	3073, 3229, 3242, 3383
Fe I	3719 usw.
Sr II	4077, 4215
Ba II	4554, 4934

Die bereits gefundenen interstellaren Linien sind mit einem Stern am Elementsymbol bezeichnet[1]).

Daß Linien von Sc, Sr und Ba nicht beobachtet werden, erklärt sich ungezwungen aus der verhältnismäßigen Seltenheit dieser Elemente. Bei Sc kommt noch hinzu, daß eine größere Zahl von Linien vom Grundzustand ausgehen. Dies ist wohl auch der Grund, warum man noch keine interstellaren Fe-Linien kennt.

Überraschend ist zunächst, daß wohl die K I-Linien λ 7664 und λ 7698, aber nicht die Al I-Linie λ 3944 beobachtet werden, obwohl beide Elemente in Sternatmosphären nahezu gleich häufig sind. Folgende Überlegungen lassen sich zur Erklärung dieser Tatsache anführen. Beide Elemente haben ein niedriges Ionisationspotential (K 4,32 V, Al 5,96 V), so daß sie im interstellaren Raum vorwiegend als Ionen vorkommen werden. Aber es genügt hier nicht, das Ionisationsgleichgewicht zwischen dem neutralen Atom und dem einfachen Ion allein zu betrachten, vielmehr ist es in diesem Falle bedeutungsvoll, daß das Ionisationspotential von K II (31,7 V) wesentlich größer ist als dasjenige von Al II (18,7 V). Für die Verhältnisse im interstellaren Raum, wie sie DUNHAM (2) seinen Untersuchungen zugrunde gelegt hat, findet man als Verhältnis der neutralen Atome zu den einfachen und zweifachen Ionen (bei gleicher Gesamtmenge) die Werte K I : K II : K III = 0,56 zu 2000: 8000 und Al I: Al II: Al III = 1: 481: 9518. Man sieht also, daß man mit der doppelten Zahl von Al I-Atomen im Vergleich zur Zahl der K I-Atome rechnen muß. Woher kann es nun rühren, daß trotzdem die Al I-Linie λ 3944 unsichtbar ist? Der Grundzustand von Al I ist ein ^2P-Term, derjenige von K I ein ^2S-Term, und man könnte versucht sein, aus dem Niveauschema der beiden Elemente zu schließen, daß sich bei Al I die aus dem Grundzustand erfolgenden Absorptionsakte auf eine wesentlich größere Zahl von Einzellinien verteilen als bei K I. Dieser Schluß ist aber bei den Verhältnissen im interstellaren Raum nicht richtig, da bei Al I, wie aus den Ausführungen in § 4 hervorgeht, praktisch überhaupt nur das Niveau $^2P_{1/2}$ besetzt ist und sich in dem um 0,014 V höher liegenden Niveau $^2P_{3/2}$ keine Elektronen halten können. [Die Al I-Linie λ 3961 ($^2P_{3/2}$—$^2S_{1/2}$) ist aus diesem Grunde im Spektrum des interstellaren Raumes gar nicht zu erwarten.] Andererseits ist aber λ 3944 ($^2P_{1/2}$—$^2S_{1/2}$) unter normalen Anregungsverhältnissen die schwächste der 4 Linien, die den Übergängen ^2P—^2S und ^2P—^2D entsprechen. Es ist daher sehr wohl möglich, daß ihre Oszillatorenstärke um einen Faktor von der Größenordnung 10 schwächer ist als die Oszillatorenstärke der K I-Linie λ 7698 ($^2S_{1/2}$—$^2P_{1/2}$). Ein solcher Faktor würde trotz des ihm entgegenwirkenden Faktors 2 in der Atomzahl, ausreichen, um λ 3944 unsichtbar zu machen.

3. Nachweis des interstellaren Charakters von Absorptionslinien. Im Jahre 1904 konnte HARTMANN (3) zeigen, daß die Ca II-Linien H und K (λ 3933 und λ 3968) im Spektrum des spektroskopischen Doppelsterns δ Orionis die von der Bahnbewegung des Sterns herrührenden periodischen Linienverschiebungen der übrigen Absorptionslinien nicht mitmachen[1]). Sie konnten also nur in einer ionisierte Ca-Atome enthaltenden Wolke entstehen, die zwischen uns und δ Orionis liegt. Im Jahre 1919 gelang es Miß HEGER am Lick-Observatory zum erstenmal, interstellare Na-*D*-Linien nachzuweisen (4). Das interstellare, ultraviolette Na-Dublett fand kurz darauf WRIGHT am Lick-Obervatory. Die übrigen Linien, K I, Ca I und Ti II, sind 1937 auf dem Mt. Wilson von DUNHAM und ADAMS gefunden worden.

Zur Veranschaulichung des stationären Charakters interstellarer Linien ist in Fig. 1 die auf dem Mt. Wilson bestimmte Radialgeschwindigkeitskurve des spektroskopischen Doppelsterns Boss 6142 wiedergegeben. Die in der Sternatmosphäre ent-

[1]) Wie üblich, bedeutet eine auf das Elementsymbol folgende I, daß die Linien dem neutralen Atom, eine II, daß sie dem einfachen Ion angehören.

[1]) In der Literatur findet man daher häufig die Bezeichnung „stationäre" Ca-Linien.

stehenden Linien erleiden infolge des Bahnumlaufs des Doppelsterns eine periodische Linienverschiebung mit einer Amplitude von rund 240 km/sec und einer Periode von 13,4 Tagen. Die interstellaren Ca II- und Na I-Linien zeigen dagegen keine periodischen Dopplerverschiebungen. Der *stationäre* Charakter gewisser Linien in den Spektren spektroskopischer Doppelsterne ist der sicherste, aber nicht einzige Hinweis auf ihren interstellaren Ursprung.

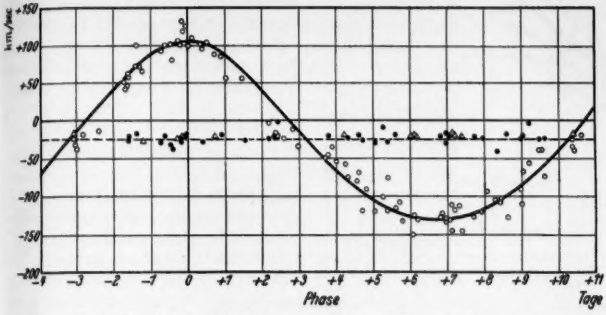


Fig. 1. Radialgeschwindigkeitskurven des spektroskopischen Doppelsterns Boss 6142. (Aus Mt Wilson Contributions Nr. 535.)
○ Messungen von stellaren Linien; • interstellare Ca II-Linien; △ interstellare Na-Linien.

Solche Linien verraten ihren interstellaren Charakter auch häufig dadurch, daß sie in den Spektren von Sternen ganz verschiedener Temperaturen auftreten. In Fig. 2 sind einige solcher Spektren wiedergegeben. Betrachten wir zunächst das Verhalten der stellaren He-Linie D_3 (λ 5875), die ein Anregungspotential von 20,8 V besitzt. Das Spektrum *f* gehört zu einem Stern vom Spektraltyp *A* 2. Die Temperatur seiner Atmosphäre ist noch so tief ($T \sim 10000°$), daß sie nicht zur Anregung der D_3-Linie ausreicht. Mit steigender Temperatur — Reihenfolge der Spektren von unten nach oben — tritt diese Linie aber immer intensiver auf, bis sie im Spektrum *c* eines Sterns vom Spektraltyp *B* 3 ein Maximum erreicht, und dann wieder abklingt, um im Spektrum *a*, das zu einem Stern des Spektraltyps *O b* ($T \sim 65000°$) gehört, wieder zu verschwinden. Denn bei dieser Temperatur ist He praktisch vollständig ionisiert (Ionisationspotential $\sim$ 24 V). Im Gegensatz dazu richten sich die Intensitäten der interstellaren Na-*D*-Linien, D_1 und D_2, nicht nach der SAHAschen Theorie. Vielmehr zeigen sie eine Korrelation zur Entfernung der Sterne, was für eine in erster Näherung ziemlich gleichförmige Dichte des interstellaren Gases spricht.

Ein geübter Beobachter erkennt die meisten interstellaren Linien unmittelbar an ihrem Aussehen. Sie sind im Vergleich zu stellaren Linien äußerst scharf, da im interstellaren Raum Verbreiterungsursachen, wie man sie in Sternatmosphären kennt, nämlich Stoßdämpfung und Starkeffekt, wegfallen. Man vergleiche z. B. in Fig. 2 die interstellaren D_1- und D_2-Linien mit der stellaren D_3-Linie.

4. Beobachtete, aber noch nicht identifizierte interstellare Linien und ihre mögliche Deutung. Neben den in § 2 aufgeführten Linien kennt man noch sieben weitere Linien interstellaren Ursprungs, wobei die 3 Linien λ 3957, λ 4233 und λ 4300 extrem scharf sind, während die 4 Linien λ 5780, λ 5796, λ 6283 und λ 6613 verwaschener erscheinen als normale interstellare Linien. λ 5780 ist in Fig. 2 deutlich erkennbar. Es ist bisher noch nicht gelungen, diese Linien zu identifizieren. Wir wollen kurz die verschiedenen Deutungsmöglichkeiten besprechen.

a) Bei den extrem scharfen Linien könnte man an Atomlinien denken. Dann könnten es aber nur solche sein, die von metastabilen Niveaus zweifach oder mehrfach ionisierter Atome ausgehen, da sie sonst im Laboratorium bereits aufgefunden sein müßten. Gegen die Deutung als Atomlinien spricht aber, daß ihre Intensitäten keine Korrelation untereinander noch mit den Intensitäten der interstellaren Atomlinien von Na I und Ca II zeigen. Der schwerwiegendste Einwand gegen eine solche

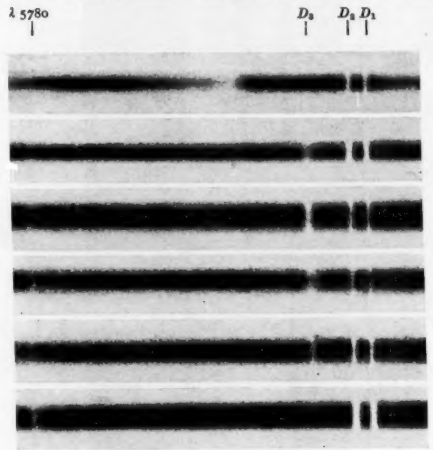


Fig. 2. Sternspektren mit den interstellaren Na-Linien D_1 und D_2 sowie der interstellaren Linie λ 5780.
a) Spektraltyp *O b*, *b*) *c B* 1, *c*) *c B* 3, *d*) *B* 2*n*, *e*) *c B* 9, *f*) *c A* 2*e*.
(Aus Mt Wilson Contributions Nr. 576.)

Deutung ist aber der folgende. Fig. 3 gibt die vom Grundzustand des Ti II-Ions (^4F-Term) möglichen Übergänge nach den nächst höher gelegenen Termen an. Im Spektrum des interstellaren Raumes

beobachtet man nun aber nur Übergänge von dem am tiefsten liegenden Unterterm $a^4F_{3/2}$, während die unter normalen Anregungsverhältnissen sogar

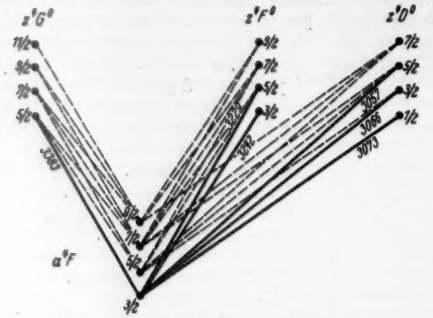


Fig. 3. Schema der tiefsten Terme des Ti II-Spektrums. (Nach DUNHAM, Nature 139, 246.)

häufiger auftretenden Übergänge vom Unterterm $a^4F_{3/2}$ nicht zu beobachten sind. Man muß daraus schließen, daß Elektronen, die durch Strahlungs-

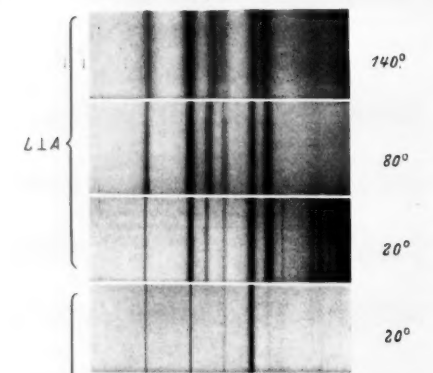


Fig. 4. Neodymabsorptionslinien bei verschiedenen Temperaturen und in verschiedenen Kristallrichtungen. (Nach Joos, Erg. exakt. Naturw. Bd. 18.)

übergänge in das um 0,012 V über $a^4F_{3/2}$ liegende Niveau $a^4F_{5/2}$ gelangen, den stark verbotenen Übergang $a^4F_{5/2}$—$a^4F_{3/2}$ ausführen, ehe ein Lichtquant zur Stelle ist, das sie in ein höher liegendes Niveau heben könnte. (Solche Quantenübergänge kommen ja nur einmal in 100 Jahren vor!). Es ist daher so gut wie ausgeschlossen, daß sich Elektronen in höher liegenden metastabilen Niveaus eine genügend lange Zeit halten können. Die Abweichungen vom thermischen Gleichgewicht sind im interstellaren Raume derart groß, daß nicht nur keine Atome in angeregten Zuständen vorhanden sind, sondern daß sogar die etwas höher liegenden Unterniveaus des Grundzustandes nicht besetzt sind.

b) Man hat auch versucht, die Linien als tiefste Rotationsschwingungen von Molekülen zu deuten. Alle höheren Schwingungen sollen bei den tiefen Temperaturen im interstellaren Raume nicht angeregt sein. In einem solchen Fall würde sich jeder Bandenzweig auf *eine* Linie reduzieren, und es wäre zu erwarten, daß sich bei den interstellaren Linien eine der Zahl der Zweige entsprechende Struktur bemerkbar macht. Trotz Verwendung einer Dispersion von 4,5 bzw. 10,2 A/mm erscheinen aber die Linien λ 3957, λ 4233 und λ 4300 als extrem scharfe Linien ohne Anzeichen einer Struktur. Außerdem sollte man dann auch die tiefsten Rotationsschwingungen der stabilen Moleküle CO^+ und N_2^+ finden, die in Kometenschweifen mit großer Intensität auftreten[1]). Die Ionisationsenergie für diese Moleküle steht jedenfalls, wie aus § 5 hervorgeht, im interstellaren Raum zur Verfügung. Es sind aber bisher keine Linien dieser Moleküle gefunden worden.

c) Die zuerst von MERRILL (5) ausgesprochene Annahme, daß es sich bei den noch nicht identifizierten interstellaren Linien um Linien von festen Körpern handelt, hat heute die größte Wahrscheinlichkeit. Soviel man weiß, liefern nur Salze der seltenen Erden extrem scharfe Linien im sichtbaren Spektralbereich. Fig. 4 zeigt, wie empfindlich die Schärfe von Neodymabsorptionslinien von der absoluten Temperatur abhängt. Daß scharfe Linien gerade bei Salzen der seltenen Erden auftreten, rührt davon her, daß bei den seltenen Erden die N-Schale des Xenons weiter durch Elektronen ausgebaut wird. In dieser noch nicht voll besetzten Schale sind Elektronenübergänge möglich, und diese werden durch die weiter außen liegende Edelgasschale geschützt. Das die scharfen Linien absorbierende Element muß während des Elektronenüberganges als von seinen Nachbarn ungestörtes Atom oder Ion im Gitter eingebaut sein, oder mit anderen Worten, das Kristallfeld muß klein sein gegenüber den inneren Kräften des Ions. Bei Cr- oder Mn-Komplexsalzen kennt man ebenfalls scharfe Linien. Aber die starke Verschiebung, die das dem Cr^{+++}-Ion zuzuschreibende Dublett in verschiedenen Komplex-Salzen erfährt (s. Fig. 5), deutet schon auf die Empfindlichkeit des eingebauten Ions gegenüber der Umgebung hin. Außerdem geht aus der

[1]) Diesen Hinweis verdanke ich Herrn Dr. WURM.

Figur hervor, daß bei zahlreichen Komplexsalzen das Cr-Ion nicht ausreichend geschützt eingebaut ist, um scharfe Linien zu geben. Es fehlt dem Cr-Ion, im Gegensatz zu den seltenen Erden, die die Elektronenübergänge nach außen schützende Edelgasschale. Es mag zunächst überraschend klingen, daß man die noch nicht identifizierten extrem scharfen interstellaren Linien mit großer Wahrscheinlichkeit auf Linien seltener Erden zurückführen muß. Seltene Erden sind aber noch in einer anderen Hinsicht vor anderen Elementen bevorzugt. Sie setzen sich sehr leicht als Verunreinigungen in Kristallen fest. Insofern braucht die verhältnismäßig große Intensität der Linie λ 4233 im Spektrum von ζ Ophiuchi nicht notwendig auf eine abnorme Häufigkeit einer seltenen Erde hinzuweisen. In diesem Zusammenhang muß noch erwähnt werden, daß MERRILL und WILSON (6) für die Intensität der verwaschenen interstellaren Linie λ 6284 eine wesentlich bessere Korrelation mit der Rot-Verfärbung entfernter Sterne gefunden haben als für die Na-*D*-Linien. Diese Rotverfärbung ist eine Folge der Streuung des Lichts an festen Teilchen von der Größenordnung der Wellenlänge.

5. Der Ionisationsgrad im interstellaren Raum. Es ist sehr bemerkenswert, daß unter den bereits aufgefundenen interstellaren Linien (s. § 2) neben dem Resonanzdublett von Ca^+ auch die Resonanzlinie λ 4226 des neutralen Ca-Atoms vorkommt. Aus dem Intensitätsverhältnis λ 4226 zu λ 3933 (λ 3968 fällt zu nahe mit der Balmer-Linie Hε zusammen) muß es deshalb gelingen, den Ionisationsgrad im interstellaren Raum abzuschätzen. Es ist dazu aber notwendig, von den Linienintensitäten auf die Zahl der Atome überzugehen, die für ihre Entstehung verantwortlich sind.

Aus der klassischen Dispersionstheorie folgt nun, daß für schwache Linien die Gesamtabsorption A_λ proportional der Größe NHf ist, wobei N die mittlere Zahl der die Linie absorbierenden Atome pro ccm, H die Höhe der absorbierenden Schicht und f die Oszillatorenstärke der Linie bedeuten. Mit wachsender Intensität der Linie tritt allmählich eine Sättigung in der Linienmitte ein, d. h. die Absorption wird so stark, daß die Intensität in der Linienmitte auf Null herabsinkt. In diesem Sättigungsgebiet hängt die Gesamtabsorption recht unempfindlich von NHf ab. Erst wenn sich bei der in der Mitte gesättigten Linie bei weiterem Wachstum ihrer Intensität Linienflügel ausbilden, hängt die Gesamtabsorption wieder empfindlicher von NHf ab, und zwar ist dann A_λ proportional $\sqrt{NHf\gamma}$, wo γ die Dämpfungskonstante bedeutet, die den Intensitätsverlauf in den Linienflügeln wesentlich mitbestimmt. Trägt man also in einem Diagramm $\log A_\lambda$ als Ordinate gegen $\log NHf$ als Abszisse auf, so wird das Wachstum der Gesamtabsorption einer Spektrallinie mit zunehmender Zahl wirksamer Atome, NHf, zuerst durch einen geradlinigen Anstieg der Steigung 1 dargestellt. Die

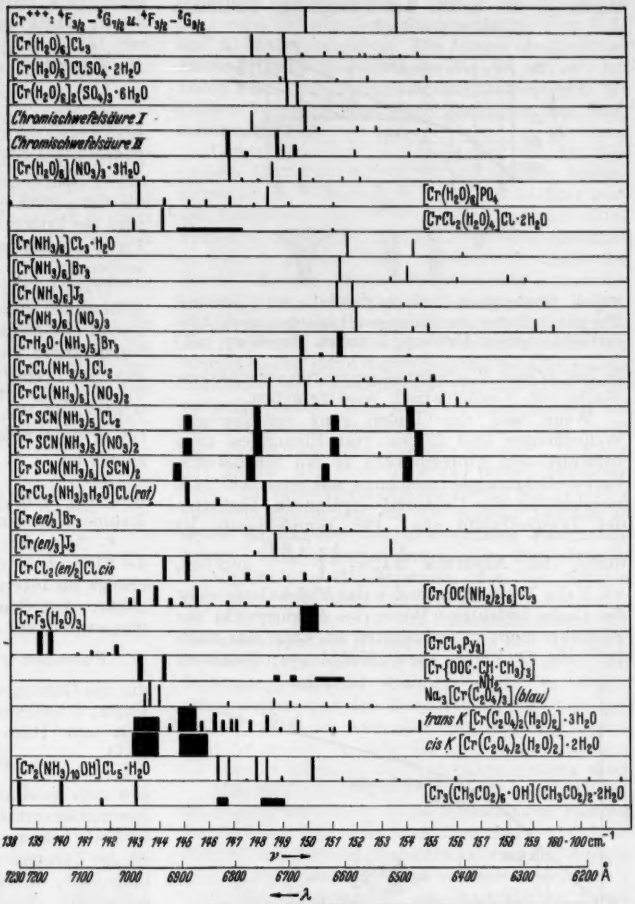


Fig. 5. Die Spektren verschiedener Chromkomplexsalze. (Nach Joos, Erg. exakt. Naturwiss. Bd. 18.)

Wachstumskurve biegt dann bald bei beginnender Sättigung in eine zur Abszissenrichtung nahezu parallele Kurve um und steigt erst bei großen Werten von NHf, wenn sich Linienflügel ausbilden, wieder linear an, aber nun mit der Steigung 1/2. Die Stelle des erneuten linearen Anstiegs wird durch γ, die Größe der Dämpfung, bestimmt.

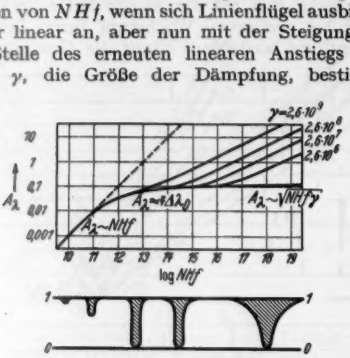


Fig. 6. Wachstumskurven für Fe-Linien bei λ 4000 und $T = 5600°$. Unten: Entsprechende Linienkonturen (schematisch). (Nach UNSÖLD, Z. techn. Physik 17, 366.)

In Fig. 6 sind Wachstumskurven für verschiedene Werte von γ schematisch wiedergegeben.

Wenn man nun Linien ganz verschiedener Wellenlängen und Linien von Elementen ganz verschiedenen Atomgewichts in *ein* Wachstumskurven-Diagramm einzeichnen will, so drückt man zweckmäßig die Gesamtabsorption in Einheiten der Dopplerbreite aus. Die Dopplerbreite ist durch den Ausdruck $\Delta\lambda_D = \frac{\lambda}{c}\sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$ gegeben, wo T die Temperatur und μ das Molekulargewicht des Gases bedeuten. Wenn das Atomgewicht der Elemente nicht zu verschieden ist, kann man auch A_λ/λ als Ordinaten und $NHf\lambda$ als Abszissen

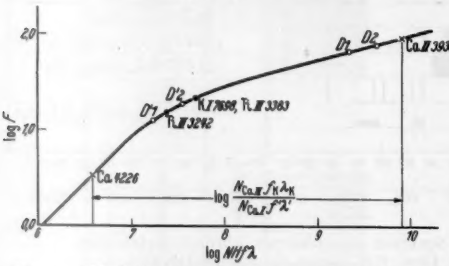


Fig. 7. Wachstumskurve, gewonnen aus den interstellaren Na-Linien D_1, D_2, D_1' und D_2' im Spektrum des Sterns χ^2 Orionis.
(Nach DUNHAM, Amer. Phil. Soc. 81, 277.)

wählen. Statt A_λ/λ verwendet DUNHAM (2) die praktische Einheit $F = 10^6 \cdot A_\lambda/\lambda$.

Die in Fig. 7 wiedergegebene, von DUNHAM gezeichnete Wachstumskurve bezieht sich auf die interstellaren Linien im Spektrum des Sterns χ^2 Orionis. Sie beruht auf den gemessenen Gesamtabsorptionen des gelben Na-Dubletts, D_1 und D_2, und denen des ultravioletten Na-Dubletts D_1' und D_2'. Tabelle 2 enthält die nötigen Unterlagen.

Tabelle 2. Gesamtabsorptionen und Oszillatorenstärken der interstellaren Na-Linien.

Linie	D_1	D_2	D_1'	D_2'
λ	5896	5890	3303	3302
f	0,33	0,66	0,0047	0,0094
$F = 10^6 A_\lambda/\lambda$	66	78	12	18
$f \cdot \lambda$		3900		37

Zunächst ist freilich NH für die Na-Linien gänzlich unbekannt, so daß die Abszissen nur bis auf eine additive Konstante festliegen. Mit Hilfe einer aus der Dispersionstheorie folgenden Beziehung für die Gesamtabsorption ganz schwacher Linien kann man sie jedoch auch absolut festlegen. Das ist in Fig. 7 geschehen, die jetzt die Grundlage für alles weitere bildet.

Trägt man nun in Fig. 7 die Punkte ein, die den gemessenen Gesamtabsorptionen von λ 4226 und λ 3933 entsprechen, so kann man, da die Oszillatorenstärken f und f' dieser Linien bekannt sind, aus der Differenz ihrer Abszissen, nämlich $\log N_{\mathrm{Ca\,II}}\, f\lambda - \log N_{\mathrm{Ca\,I}}\, f'\lambda'$, das Verhältnis der Zahl der Ca^+-Ionen pro ccm zur Zahl der neutralen Ca-Atome pro ccm bestimmen. Das Ergebnis ist

$$Ca^+/Ca = 3500.$$

Auf ein Ca-Atom kommen im interstellaren Raume also 3500 Ca^+-Ionen.

6. Zahl der freien Elektronen und Häufigkeit der Elemente im interstellaren Raum. Die Ionisation erfolgt im interstellaren Raum durch den Photoeffekt. Auf Grund der Photoionisationsgleichung (angewandt auf Ca)

$$\text{Photonen} + \text{Ca I} \rightleftarrows \text{Ca II} + \text{Elektronen},$$

die das Gleichgewicht zwischen neutralen Atomen, Ionen, Elektronen und Photonen ausdrückt, läßt sich mit Hilfe des gefundenen Verhältnisses $\frac{\text{Ca II}}{\text{Ca I}} = 3500$ die Zahl N_e der freien Elektronen pro ccm gewinnen, wenn die Energiedichte und Intensitätsverteilung des interstellaren Strahlungsfelds als bekannt vorausgesetzt wird. In Tabelle 1 ist die Zusammensetzung des interstellaren Strahlungsfelds, herrührend von Energiequellen verschiedener Temperatur und Verdünnung, angegeben. In seinen Untersuchungen benutzt DUNHAM eine von PANNEKOEK (7) abgeleitete Photoionisationsgleichung, in der neben den Temperaturen der Strahlungsquellen auch noch die Elektronentemperatur T_e vorkommt. Glücklicherweise geht diese nur als $\sqrt{T_e}$ in die Formel ein, so daß die Verhältnisse nicht sehr empfindlich gegenüber einem Fehler in der angenommenen Elektronentemperatur sind. DUNHAM wählt dafür den Wert $T_e = 10000°$. Eine Begründung für diesen Wert kann man in folgendem erblicken. Da, wie wir noch sehen werden, die freien Elektronen zur überwiegenden Mehrzahl

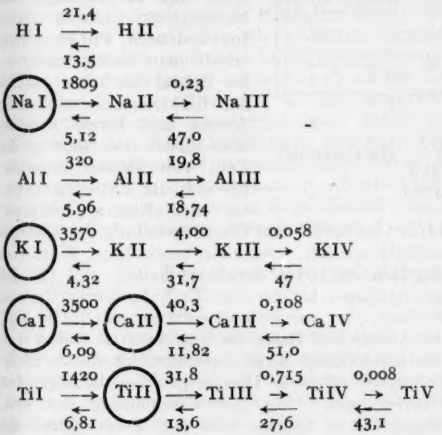
von Wasserstoff herrühren, die Ionisation also notwendig durch Strahlung im extremen Ultraviolett ($\lambda < 900$ A) besorgt wird, so muß die Elektronentemperatur mit derjenigen in den Atmosphären der heißen Sterne größenordnungsmäßig übereinstimmen. Denn beim Photoeffekt kommt es ja nur auf die Farbe, aber nicht auf die Intensität des Lichtes an. Unter diesen Annahmen erhält man als mittlere Zahl der freien Elektronen pro ccm im interstellaren Raum den Wert

$$N_e = 14{,}4.$$

[Dieser Wert wird auf die Hälfte herabgedrückt, wenn man eine plausible interstellare Lichtabsorption einführt, siehe (2). Wir wollen auf die Unterscheidung zwischen den beiden Fällen mit und ohne Absorption hier verzichten, da es sich ja doch nur um größenordnungsmäßige Abschätzungen handelt.]

Da die Materie als Ganzes notwendig neutral sein muß, so müssen im ccm also auch rund 10 Ionen enthalten sein. Erinnern wir uns nun an die rohe Abschätzung einer maximalen Dichte der Materie im interstellaren Raum! Die Dichte sollte den Wert $3 \cdot 10^{-24}$ g/ccm nicht überschreiten. Die freien Elektronen müssen daher zur überwiegenden Zahl von Wasserstoff als dem *leichtesten* Element herrühren.

Tabelle 3. Der Ionisationsgrad verschiedener Elemente im interstellaren Raum.



Da der Elektronendruck im interstellaren Raum jetzt bekannt ist, können wir die Photoionisationsgleichung benutzen, um den Ionisationsgrad anderer Elemente abzuschätzen. Tabelle 3 enthält die von DUNHAM gefundenen Ergebnisse. Es ist nur die Zeile für Al hinzugefügt worden, um das verschiedene Verhalten von K und Al auf Grund des ganz verschiedenen Ionisationspotentials von K II und Al II zu illustrieren. Die Zahlen oberhalb der Pfeile geben die Verhältnisse N_{r+1}/N_r an, wo der Index r die r^{te} Ionisationsstufe charakterisiert; die Zahlen unterhalb der Pfeile bedeuten das Ionisationspotential.

Damit besitzen wir alle Daten, um für diejenigen Elemente, die wenigstens in einer Ionisationsstufe im interstellaren Raum beobachtet wurden (eingekreist in Tabelle 3), die Häufigkeit ihres Vorkommens abzuleiten. Aus der Wachstumskurve in Fig. 7 gewinnt man zunächst die Zahl der Atome, die am Zustandekommen der Linien der betreffenden Ionisationsstufe mitgewirkt haben. Mit Hilfe von Tabelle 3 erhält man daraus die Zahl der Atome in den übrigen Ionisationsstufen des Elements, und dann durch Summation aller Ionisationsstufen des Elements seine Häufigkeit im interstellaren Raum. Will man die Häufigkeiten auf die Volumeinheit beziehen, so muß man noch die Entfernung des Sterns kennen. DUNHAM hat hierfür den Wert H = 725 parsec angenommen. Auf diese Weise sind die Zahlen der Tabelle 4 zustande gekommen, die die Anzahl Teilchen in einem Kubikmeter des interstellaren Raums angeben. Man erkennt daraus die überwiegende Häufigkeit des Wasserstoffs, der die übrigen Elemente weit mehr an Partikelzahl übertrifft, als es z. B. UNSÖLD für die Zusammensetzung der Sternatmosphären (8) angenommen hat. Im interstellaren Raum entfallen auf ein Na-Atom 137000 H-Atome, während UNSÖLD dafür in Sternatmosphären nur den hundertsten Teil annimmt.

Auffallend ist weiterhin, daß Na rund 17mal häufiger ist als Ca, während in Sternatmosphären Ca als das häufigere Element angenommen wird.

Man darf dabei jedoch nicht vergessen, daß sich die vorstehende Analyse des interstellaren Raumes nur auf die Richtung nach dem Stern χ^2-Orionis bezieht, und die Verhältnisse in anderen Richtungen beträchtlich davon verschieden sein können.

7. Die „Temperatur" im interstellaren Raum. Wir haben bisher nur von der „Elektronentemperatur" im interstellaren Raum gesprochen, die ein

Tabelle 4. Häufigkeit einiger Elemente im interstellaren Raum. (Anzahl der Teilchen pro Kubikmeter.)

Ionisationsstufe	Elektronen	Wasserstoff	Natrium	Kalium	Calcium	Titan
I	14400000	700000	0,050	0,00083	0,00004	0,00000091
II		14400000	90,0	2,96	0,14	0,0013
III			21,0	11,8	5,65	0,042
IV				0,69	0,61	0,030
Summe:	14400000	15100000	111	15,5	6,4	0,073

Maß für die mittlere Geschwindigkeit der Elektronen darstellt. Es ist nun aber auch möglich, mit Hilfe der aus den Na-Linien gewonnenen Wachstumskurve (Fig. 7) die mittlere Geschwindigkeit der Na-Atome im interstellaren Raum und damit eine „Atomtemperatur" abzuschätzen. Diese Möglichkeit beruht darauf, daß sich der interstellare Raum, was die Art der Entstehung der Absorptionslinien betrifft, wie ein Absorptionsrohr verhält und daß man im interstellaren Raum nur mit Strahlungsdämpfung zu rechnen hat. Die Größe der Dämpfungskonstanten für die Na-D-Linien

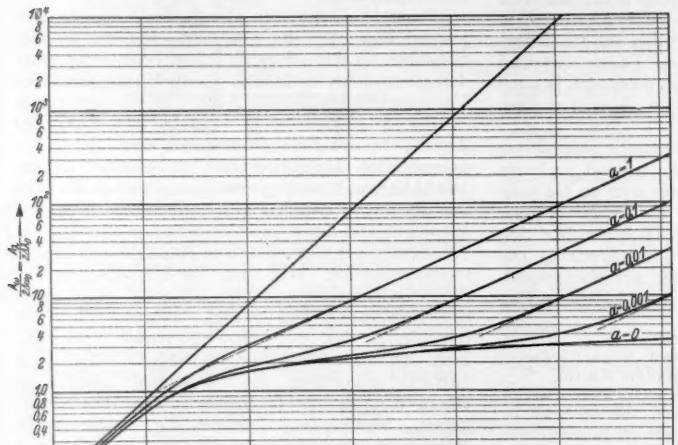


Fig. 8. Gesamtabsorption als Funktion der Anzahl $N \cdot l$ absorbierender Oszillatoren pro 1 cm²-Säule nach v. d. HELD. (Aus UNSÖLD, Physik der Sternatmosphären.)

liegt also von vornherein fest. Wir können deshalb die empirische Wachstumskurve der Fig. 7 mit der Wachstumskurve vergleichen, wie sie z. B. VAN DER HELD (9) für ein Absorptionsrohr berechnet hat. Fig. 8 gibt die Verhältnisse für ein Absorptionsrohr wieder. Die verschiedenen Kurven gehören zu verschiedenen Werten des Parameters $a = \gamma/\Delta\omega_D$, der ein Maß für die Dämpfung, ausgedrückt in Einheiten der Dopplerbreite, darstellt. Da im interstellaren Raum bei einer Elektronentemperatur von 10000° mit Atomtemperaturen von der gleichen Größenordnung zu rechnen ist, so schätzt man leicht ab, daß die empirische Wachstumskurve in Fig. 7 mit der zum Parameter $a = 0{,}001$ gehörenden Wachstumskurve in Fig. 8 zu vergleichen ist. Um diesen Vergleich zu ermöglichen, haben wir in Tabelle 2 für die Linien D_2 und D_2' neben den Werten von $10^6\, A_\lambda/\lambda$ noch die Werte von $f\lambda$ angegeben. Wie man sieht, wächst für diese Linien die Gesamtabsorption um den Faktor 4, wenn $f \cdot \lambda$ um den Faktor 100 zunimmt. Wir müssen also jetzt in Fig. 8 auf der Kurve für $a = 0{,}001$ zwei Punkte aufsuchen, für die die gleichen Verhältnisse gelten. Der mögliche Spielraum ist dabei nicht groß. Man findet die Verhältnisse gut dargestellt, wenn man für D_2', die schwache Linie, den Wert

$$A_\lambda / 2\,\Delta\lambda_D = 0{,}6$$

ansetzt. Da A_λ gemessen ist, so gewinnt man daraus die Dopplerbreite. Setzt man den Ausdruck für $\Delta\lambda_D$ ein (siehe § 5), und löst die Gleichung nach der Temperatur T auf, so findet man als „Atomtemperatur" im interstellaren Raum

$$T_{\mathrm{Na}} = 28000°.$$

Wenn die interstellaren Atome und Ionen ihre Geschwindigkeiten durch Zusammenstoß mit den raschen Elektronen erhalten, so kann man mit Hilfe des Impulssatzes die maximal mögliche Energieübertragung abschätzen. Ein Elektron kann beim elastischen Stoß maximal das $4\,\frac{m}{M}$ fache seiner kinetischen Energie abgeben, wo m die Masse des Elektrons und M diejenige des Stoßpartners (Atom oder Ion) bedeuten. Für Protonen erhält man so als maximalen Betrag das $2 \cdot 10^{-3}$fache der Elektronenenergie. Die Atome und Ionen müssen also schon eine sehr große Zahl von Stößen erleiden, bis sich die „Atomtemperatur" der „Elektronentemperatur" im Sinne einer Gleichverteilung der Energie angeglichen hat. Der hohe beobachtete Wert von T_{Na} läßt entweder darauf schließen, daß für die interstellaren Linien eine Turbulenzverbreiterung vorliegt, oder, was wahrscheinlicher sein dürfte, daß die Atome und Ionen im interstellaren Raum ihre Geschwindigkeit nicht ausschließlich durch Elektronenstoß erhalten. Hierfür sprechen die folgenden Überlegungen. Aus der Erscheinung der erdmagnetischen Stürme und der Polarlichter, die nach heftigen solaren Eruptionen auftreten, wissen wir, daß von der Sonne im ganzen neutrale Korpuskularströme großer Geschwindigkeit (~ 1600 km/sec) emittiert werden. Außerdem zeigen Beobachtungen, daß eruptive Protuberanzen auf der Sonne Geschwindigkeiten bis zu 500 km/sec erhalten können. Es ist daher unerläßlich, bei der Beurteilung der Geschwindigkeitsverteilung der interstellaren Atome und Ionen die Wirkung von Zusammenstößen mit primär sehr raschen Atomen und Ionen in Betracht zu ziehen, die von der

Emission schneller Korpuskularstrahlen in Sternatmosphären herrühren. Diese Emissionen brauchen nicht allzu häufig zu sein, denn der beobachteten Temperatur $T_{Na} = 28000°$ entspricht eine Geschwindigkeit der Na-Atome von nur 4,5 km/sec.

In dieses „heiße" interstellare Elektronen- und Atomgas sind feste Teilchen von der Größenordnung der Wellenlänge des Lichts und größere Partikel, die eine abschattende Wirkung hervorrufen können, eingebettet. Die Temperatur, die ein solches „Kohlestäubchen" im Gleichgewicht mit dem interstellaren Strahlungsfeld annehmen würde, liegt nur wenige Grad über dem absoluten Nullpunkt. Die starken Abweichungen der Verhältnisse im interstellaren Raum von denjenigen im thermischen Gleichgewicht kommen nicht nur in den großen Unterschieden zwischen den verschiedenen „Temperaturen" zum Ausdruck, also in dem schlechten Wärmekontakt der verschiedenen Teilchensorten, sondern auch in den ungewöhnlichen Anregungsbedingungen. Trotz der hohen Elektronen- und Atomtemperaturen gibt es im interstellaren Raum praktisch keine Atome in angeregten Zuständen. Wie das Beispiel des Ti II-Spektrums zeigte, können sich Elektronen nicht einmal in Unterniveaus des Grundzustandes halten, die nur um 0,012 V über dem tiefsten Niveau liegen. Die mittlére Lebensdauer dieser Zustände ist offenbar klein gegenüber den Zeiten, während derer ein Atom im interstellaren Raum ein durch Stoß oder Absorptionsakt ungestörtes Leben führt. Auch Gitterschwingungen, die in Kristallen durch Stoß mit raschen Elektronen oder Atomen angeregt werden können und zu Linienverbreiterungen führen würden, klingen viel rascher ab, als der Zeit zwischen 2 Stößen (mehrere Wochen) entspricht. Ein ankommendes Lichtquant wird daher mit überwiegender Wahrscheinlichkeit das feste Teilchen im Grundzustand (schwingungslos) antreffen, so daß die festen Teilchen äußerst scharfe Linien absorbieren, trotzdem sie in dem „heißen" Elektronen- und Atomgas eingebettet sind. Aber solche festen Teilchen können sich in diesem heißen Gas sicher nicht neu bilden. Ihre Herkunft ist wahrscheinlich durch Zerfall größerer Stücke interstellaren Staubes zu verstehen.

Die hier besprochenen Untersuchungen sind mit mancherlei instrumentellen Schwierigkeiten verknüpft. Eine Hauptschwierigkeit besteht darin, die ultravioletten Na I- und Ti II-Linien mit hinreichender Dispersion aufzunehmen. Dazu wurde am Mt. Wilson-Observatorium in Verbindung mit dem 100-inch-Reflektor ein Gitterspektrograph benutzt, der als Kollimator- und Kameraoptik Schmidt-Spiegel und zur Erzeugung der Dispersion ein neues lichtstarkes WOODSches Gitter — Aluminium auf Pyrexglas — enthält. Die Furchenform in der Aluminiumschicht wurde so hergestellt, daß das Gitter das einfallende Licht in der Hauptsache nur in *eine* Ordnung reflektiert. Die von DUNHAM erzielten Erfolge in der Erforschung des interstellaren Raumes waren somit nur durch eine zielbewußte Weiterentwicklung der instrumentellen Hilfsmittel möglich.

Literatur.

1. W. BECKER, Interstellare Materie. Fortschritte der Astronomie 1. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1938. — 2. TH. DUNHAM, Material of interstellar space. Proc. Amer. Philos. Soc. **81**, 277 (1939). — 3. J. HARTMANN, Untersuchungen über das Spektrum und die Bahn von δ Orionis. Sitzgsber. Preuß. Akad. Wiss., Berlin 1904. — 4. MISS HEGER, Further study of the sodium lines in class B stars. Lick Obs. Bull. **10**, 141 (1919). — 5. P. W. MERRILL, Unidentified interstellar lines. Physic. Rev. **52**, 761 (1937). — 6. P. W. MERRILL u. O. C. WILSON, Unidentified interstellar lines in the yellow and red. Aph. J. **87**, 9 (1938). — 7. A. PANNEKOEK, The ionization formula for atmospheres not in thermodynamic equilibrium. Bull. Astron. Inst. Netherlands **3**, 207 (1926). — 8. A. UNSÖLD, Physik der Sternatmosphären, S. 82, Tabelle 20. Berlin: Julius Springer 1938. — 9. E. F. M. v. D. HELD, Intensität und natürliche Breite von Spektrallinien. Z. Physik **70**, 508 (1931).

Bestehen Wechselwirkungen zwischen den Vitaminen?

Von A. SCHEUNERT, Leipzig.

Schon kurze Zeit, nachdem man gelernt hatte, die einzelnen Vitamine zu unterscheiden und ihre Wirkungen zu erkennen, wurden Befunde erhoben, die von einigen Autoren im Sinne einer Wechselwirkung gedeutet worden sind. So hatte man beobachtet, daß sehr hohe Gaben von Lebertran schädliche Wirkungen auf Meerschweinchen ausüben, und glaubte, diese auf eine übermäßige Vitamin A-Zufuhr zurückführen zu dürfen. Weitere Befunde wurden dann so gedeutet, daß durch die angenommene Vitamin A-Wirkung ein vermehrter Vitamin C-Verbrauch bedingt werde, und so kam der Schluß zustande, daß ein Antagonismus zwischen diesen beiden Vitaminen bestehen müsse. Auf Grund weiterer experimenteller Ergebnisse und klinischer Erfahrungen, die ähnliche gegensätzliche oder sich unterstützende Wirkungen zwischen verschiedenen Vitaminen darzutun schienen, hat man schließlich ein ganzes Gebäude von Theorien errichtet, welches man zur Zeit als die Lehre vom *Synergismus und Antagonismus der Vitamine* bezeichnen kann.

Der Grundgedanke hierzu läßt sich in dem aus dem Werke von STEPP, KÜHNAU, SCHROEDER entnommenen Satz zusammenfassen, *daß die Ausschaltung eines Vitamins aus der Nahrung eine Wirkungsänderung der in der Nahrung noch verbliebenen Vitamine zur Folge hat.*

Das würde bedeuten, daß die Vitamine nur in gewissen gegenseitigen zahlenmäßigen Verhältnissen ihre optimalen Wirkungen entfalten können und daß der Mangel oder Überschuß eines Vit-

amins die Wirkungen eines oder aller anderen Vitamine verändern muß.

Würden solche Zusammenhänge tatsächlich bestehen, so müßte dies zu weittragenden Folgen für alle Vorgänge, an denen Vitamine beteiligt sind, und damit für den ganzen Stoffwechsel überhaupt führen. Man muß sich einmal die tatsächlichen Verhältnisse der Vitaminzufuhr klarmachen. Im Frühjahr genießen wir eine Kost, die sich oft genug gerade an den zulässigen Grenzen der Vitaminbedarfsdeckung bewegt. Im Sommer und Herbst genießen diejenigen, welche viel grünes Gemüse, Obst und Salat essen, ganz erhebliche Mengen von Vitamin A und evtl. von Vitamin C. Ein Schwarzbrotesser nimmt viel mehr Vitamin B_1 auf als ein Weißbrotesser, und solche, die gekochte Kartoffeln genießen, erhalten viel weniger Vitamin C als jene, die etwa die Zubereitung durch Dämpfen bevorzugen oder viel Rohkost genießen. D. h. also: von irgendeinem harmonischen Verhältnis der Vitamine in der täglichen Kost kann nicht die Rede sein. Die *Vitaminzufuhr wechselt bei jedem von uns täglich* und ist bezüglich der gegenseitigen Mengenverhältnisse der Vitamine ganz verschieden. Heute wird ein Vitamin vielleicht in Spuren, morgen in einem gewaltigen Überschuß gegessen.

Bestünde nun tatsächlich eine gegenseitige Abhängigkeit der Vitaminwirkung, also der angenommene Synergismus oder Antagonismus, so würden pon Tag zu Tag andere Verhältnisse vorliegen, und der Wirkungsmechanismus der Vitamine würde ständig in gänzlich unkontrollierbarer, von der seweiligen zufälligen Kostzusammensetzung abhängigen Weise schwanken. Da die Vitamine als Teile von Fermenten wichtige Funktionen im Stoffwechsel zu erfüllen haben, müßten also auch die Stoffwechselvorgänge, soweit sie von Vitaminen beeinflußt werden, ständig in weiten Grenzen schwanken. *Die Erfüllung der Theorie vom Synergismus oder Antagonismus der Vitamine führt also zu weittragenden Folgerungen, deren Auswirkungen gar nicht zu überblicken sind.*

Soll eine solche weittragende und grundlegende Theorie vertreten werden, so muß sie auch einwandfrei durch experimentelle Beweise gestützt sein.

Sehen wir uns nach solchen Beweisen um, so muß man allerdings feststellen, daß das, was an experimentellen Befunden in der Literatur mitgeteilt worden ist, zum weitaus größten Teil wirklich beweisende Tatsachen nicht erbringt. Ein großer Teil der fraglichen Arbeiten ist mit schweren methodischen Mängeln behaftet, so daß sie von vornherein der Beweiskraft entbehren. So werden z. B. in den schon erwähnten Meerschweinchenversuchen große Gaben von Lebertran oder aus Lebertran hergestellte Konzentrate verabreicht, um A-Hypervitaminosen zu erzielen. Auf Herbivoren und insbesondere Meerschweinchen wirkt Lebertran aber toxisch, so daß schon 0,5 ccm täglich genügen, um schwere Muskeldystrophien hervorzurufen, die mit einer Vitamin A-Schädigung nichts zu tun haben. Arbeiten mit solchem Vorgehen sind also für die zur Diskussion stehende Frage nicht beweisend. Andere Autoren erzeugten bei Kaninchen eine D-Hypervitaminose und stellten Abschwächungen der darauf zurückgeführten Schädigungen fest, wenn sie gleichzeitig ein Hefepräparat verabreichten. Hieraus schlossen sie auf eine antagonistische Wirkung der in der Hefe enthaltenen Vitamine der B-Gruppe, ohne zu berücksichtigen, daß in der Hefe sehr verschiedene und zahlreiche Substanzen vorkommen, die alle mit gleichem Recht für die ermittelte Wirkung verantwortlich gemacht werden können. Überhaupt wird häufig versucht, zur Beweisführung Hypervitaminosen zu erzeugen und dann durch Zugabe eines anderen Vitamins eine Abschwächung der Hypervitaminose nachzuweisen. Dazu ist aber zu bemerken, daß die ungeheuren Vitaminmengen, die zur Erzeugung von Hypervitaminosen benötigt werden, weit jenseits aller physiologischen Grenzen und unter normalen Ernährungsverhältnissen überhaupt außerhalb des Bereichs der Möglichkeit liegen. Für den normalen Stoffwechselverlauf kann man aus solchen extremen Verhältnissen nichts entnehmen.

Diese Hinweise mögen genügen. Es ist danach so, daß bei fast allen Arbeiten, die sich für Wechselwirkungen aussprechen, irgendwelche oft sehr schwerwiegende Einwände zu machen sind. Wenn aber einmal die gewählte Methodik einwandfrei erscheint, so kommen solche Wechselwirkungen überhaupt nicht zum Ausdruck, oder sie sind so verschwommen, daß ein sicherer Schluß in positivem Sinne nicht gezogen werden kann.

Es kommt also darauf an, eine einwandfreie Methodik zu finden. Hierzu bietet der Tierversuch und die Bestimmung des *„Grenzbedarfs"* an einem Vitamin die Möglichkeit. Unter Grenzbedarf verstehen wir die Mindestmenge, die von einem Vitamin zur Erfüllung bestimmter Bedingungen gereicht werden muß. Der Grenzbedarf eines Versuchstiers an einem Vitamin läßt sich sehr genau festlegen, wenn man die geringste Menge dieses Vitamins ermittelt, die es dem Versuchstier ermöglicht, eine begrenzte Anzahl (z. B. 35) von Tagen unter Erfüllung bestimmter Bedingungen zu leben. Für Vitamin A wird z. B. die geringste Menge ermittelt, welche es ermöglicht, daß mindestens 8 von 10 Ratten, die vorher die Erscheinungen des Vitamin A-Mangels aufwiesen, innerhalb von 35 Tagen hiervon geheilt werden. Bei Vitamin C wird die niedrigste Tagesdosis bestimmt, bei welcher sich eine Gruppe von 4 oder 5 Meerschweinchen über 35 Tage praktisch von Skorbut frei halten läßt usw.

Der so festgelegte Vitaminbedarf eines Tieres muß sich verändern, *wenn er durch Zufuhr anderer Vitamine gesteigert oder vermindert wird.* Besteht ein *Antagonismus*, so müßte z. B. ein Meerschweinchen *mehr* Vitamin C verbrauchen; unterstützt aber das andere Vitamin die Vitamin-C-Wirkung, so müßte das Tier mit weniger Vitamin C auskommen.

Tabelle 1.

Die Tierversuche wurden durchgeführt in der Zeit vom	Dauer des Versuchs in Tagen	Art der Zulagen		Gefundener minimaler Grenzbedarf in mg Ascorbinsäure
19. IX. bis 29. X. 1938	36	Ascorbinsäure	+ 50 mg Trockenbierhefe	0,40
19. IX. „ 29. X. 1938	34		+ 1000 mg Trockenbierhefe	0,40
3. X. „ 5. XI. 1938	34		allein	0,40
21. X. „ 24. XI. 1938	35		+ 50 IE.*) Vitamin B_1	0,40
21. X. „ 24. XI. 1938	35		+ 2000 IE. Vitamin B_1	0,40
10. X. „ 12. XI. 1938	34		+ 1200 IE. Vitamin A	0,35
4. X. „ 9. XI. 1938	35		+ 100 IE. Vitamin D	0,35
4. X. „ 9. XI. 1938	35		+ 6000 IE. Vitamin D	0,40
24. I. „ 29. IV. 1939	60		+ 100 IE. Vitamin D	0,40
24. I. „ 29. IV. 1939	60		+ 6000 IE. Vitamin D	0,40
24. I. „ 29. IV. 1939	60		allein	0,45 streut sehr
17. I. „ 18. III. 1939	60		+ 2400 IE. Vitamin A	0,35
17. I. „ 18. III. 1939	60		+ 12000 IE. Vitamin A	0,35
19. I. „ 8. IV. 1939	60		+ 36000 IE. Vitamin A	0,35
13. IX. „ 30. X. 1939	35		allein	0,35

In den letzten Jahren wurden mit dieser Methodik sehr zahlreiche Versuche, insbesondere mit meinen Mitarbeitern Dr. med. Habil. WAGNER und Dr. phil. RESCHKE ausgeführt, und über einige wenige wurde bereits berichtet[1]). Im folgenden sollen zusammenfassend die wichtigsten weiteren Ergebnisse dargestellt werden.

In der Tabelle 1 sind die Versuche aufgeführt, welche zur Ermittelung etwaiger Wechselwirkungen zwischen Vitamin C und anderen Vitaminen an Meerschweinchen durchgeführt worden sind. Es ist immer nur der gefundene Grenzbedarf an reiner Ascorbinsäure angegeben worden. Dieser liegt nach zahlreichen Versuchen zwischen 0,3 bis 0,45 mg täglich und hält sich in diesen Grenzen, wie die Tabelle lehrt, bei Zulage anderer Vitamine auch dann, wenn diese in verschieden hohen Dosen zugelegt werden.

Von anderen Ergebnissen seien noch folgende mitgeteilt: Junge wachsende Ratten auf rachitogener Kost werden durch eine tägliche Verabreichung von 1,25 IE. Vitamin D vor Rachitis geschützt. Bei 1 IE. sind sie rachitisch. Hieran ändert nichts die tägliche Zugabe von

1. 1 mg = 1000 γ Aneurin oder
2. 10 γ Aneurin + 10 γ β-Carotin oder
3. 100 γ Aneurin + 100 γ β-Carotin.

Junge wachsende Ratten auf vitamin-B_1-freier Kost erkrankten an Vitamin-B_1-Mangel. Sie werden in 35 Tagen geheilt von 1,2—1,4 γ Aneurin täglich. 1 γ hingegen ist ungenügend dazu.

Hieran ändert nichts die tägliche Zugabe von

1. 20 IE. Vitamin D,
2. 3000 IE. Vitamin D,
3. 30 IE. Vitamin D + 20 IE. Vitamin A,
4. 1000 IE. Vitamin D + 1000 IE. Vitamin A.

Auch Kombinationen zwischen Vitamin D und Vitamin A führten zu keinen Ergebnissen, welche Rückschlüsse auf bestehende Wechselwirkungen zuließen. *Wir lehnen auf Grund dieser zahlreichen Befunde die Lehre vom Synergismus und Antagonismus der Vitamine ab.* Es gibt somit keine Wechselwirkung zwischen den Vitaminen, die irgendwie im normalen Stoffwechsel eine Rolle spielen und den Vitaminbedarf grundlegend verändern könnten.

Dies entspricht den theoretischen Vorstellungen, die wir uns zur Zeit, gestützt auf gute Gründe, von der Rolle der Vitamine im Stoffwechsel machen können. Die Vitamine sind Bausteine von Fermenten, welche ganz bestimmte Umsetzungen bewirken, die zu jenen zahlreichen nach- und nebeneinander ablaufenden Reaktionen gehören, mit deren Hilfe der Um- und Abbau der Nährstoffe erfolgt.

Wir können uns vorstellen, daß sich der Umfang dieser Umsetzungen nach dem Angebot an den Hauptnährstoffen und dem Energiebedarf ändert. Vielleicht wird dadurch auch eine entsprechend wechselnde Menge von den die Umsetzung bewirkenden Fermenten verbraucht. Unwahrscheinlich dagegen ist, daß die vermehrte oder verringerte Zufuhr eines *Fermentbausteins* mit der Nahrung *den Bedarf an anderen Fermenten* beeinflussen könnte. Es besteht kein Anhaltspunkt dafür, daß die Einzelreaktionen, welche unter Mitwirkung der Vitamine ablaufen, untereinander in irgendeinem Abhängigkeitsverhältnis stehen. Es ist vielmehr wahrscheinlich, daß die einzelnen Vitamine an ganz verschiedenen Vorgängen, die untereinander keine Beziehungen zu haben brauchen, beteiligt sind. So mag ein Vitamin beim Kohlehydratabbau, andere beim Fett-, Eiweiß-, Mineralstoffwechsel oder bei anderen Umsetzungen, die gar nicht mit einem der Hauptnährstoffe zusammenzuhängen brauchen, zur Wirkung gelangen.

Man könnte schließlich vermuten, daß die Vitamine (als Bestandteile von Fermenten) durch

*) IE. bedeutet internationale Einheit.

[1]) SCHEUNERT u. RAU, Hoppe-Seylers Z. **246**, 267 (1937). — SCHEUNERT u. WOLFANGER, Hoppe-Seylers Z. **252**, 95 (1938). — SCHEUNERT u. WAGNER, Hoppe-Seylers Z. **256**, 111 (1938).

Vermittelung der Stoffwechselvorgänge, an denen sie mitwirken, sich gegenseitig beeinflussen könnten. Denkt man diesen Gedanken durch, so wird man zur Annahme von Hilfshypothesen gezwungen, die immer unwahrscheinlicher werden; dieser Weg bietet also keine befriedigenden Erklärungsmöglichkeiten.

Man weiß ja auch, daß eine Steigerung der Vitaminzufuhr über das optimale Maß keinerlei Veränderungen im Nährstoff- oder Energieverbrauch oder sonstige Folgen nach sich zieht, es sei denn, es werden derartig übertriebene Dosen gereicht, daß toxische Wirkungen erfolgen.

Sehr treffend werden auch diese verschiedenen Aufgaben der Vitamine durch Untersuchungen von GÖTHLIN[1]) und seinen Mitarbeitern dargetan. Diese zeigten, daß die Vitamine einen ganz verschiedenen Anteil an den Oxydationsprozessen und den Assimilationsprozessen des Körpers haben.

Das Fehlen der Wechselwirkungen *ist nun von sehr großer Bedeutung für die praktische Vitaminforschung.*

Bestünde ein Synergismus oder Antagonismus, so wäre die Festlegung des *Vitaminbedarfs* eines Menschen überhaupt nicht möglich, da er ja von Tag zu Tag, je nach der Nahrungszusammensetzung, wechseln müßte. Weiter könnte auch in keinem Nahrungsmittel der Vitamingehalt mit der biologischen Methode, die auch heute noch die einzig exakte Methode ist, ermittelt werden. Würde z. B. der Vitamin B_1-Bedarf durch hohe Vitamin A-Gaben verändert werden, so würde in jeglichem grünen Gemüse eine biologische Vitamin B_1-Bestimmung unmöglich sein. Grünkohl enthält nämlich in 100 g z. B. 10000 IE. Vitamin A, aber nur etwa 60 IE. Vitamin B_1. Bestünden Wechselwirkungen, so würde man nichts über den tatsächlichen Gehalt an Vitamin B_1 aussagen können.

Somit wäre es überhaupt unmöglich, eine Vitaminbilanz aufzustellen, also zu ermitteln, wieviel von den einzelnen Vitaminen durch die landwirtschaftliche Produktion jährlich zur Verfügung steht, und andererseits diesen Mengen die Bedarfszahlen gegenüberzustellen, die von der gesamten Bevölkerung benötigt werden.

Nach den mitgeteilten experimentellen Ergebnissen und auf Grund der theoretischen Darlegungen bestehen somit Wechselwirkungen im Sinne eines Synergismus oder Antagonismus zwischen den Vitaminen nicht. Es vermag also auch nicht die Wegnahme eines Vitamins aus der Kost Wirkungsveränderungen der verbleibenden Vitamine herbeizuführen.

Mögen durch diese Feststellung auch einige liebgewordene Hypothesen zerstört werden, so ist sie doch sehr befriedigend, da es nur auf dieser Grundlage möglich ist, den menschlichen Vitaminbedarf zahlenmäßig festzulegen.

[1]) G. FR. GÖTHLIN, Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) **80**, 133 (1938).

Die Auswertung übermikroskopischer Bilder zur Bestimmung der Kornverteilung von Tonen[1]).

Von WILHELM EITEL und CARL SCHUSTERIUS.

Die besondere Eignung der übermikroskopischen Untersuchung von Tonsedimenten erweist sich in erster Linie, wenn es sich darum handelt, auf Grund einer Unterscheidung der sie aufbauenden Kristallarten nach ihren kennzeichnenden Formen ein qualitatives Bild ihrer mineralischen Zusammensetzung zu gewinnen; für den Mineralogen und Keramiker bedeutet diese Leistung der übermikroskopischen Methode eine wertvolle Bereicherung der bisher nur beschränkten Erkenntnisse der lichtmikroskopischen und kolloidphysikalischen Methoden. Darüber hinaus aber muß es im Prinzip möglich sein, auch *quantitative* Schlüsse aus dem reichen Material zu gewinnen, welches schon eine einzige geeignete Aufnahme im Übermikroskop vermittelt. Vor allem gelingt es, wie im nachfolgenden dargelegt wird, die *Kornverteilung* eines gegebenen Tonsedimentes in den Größenklassen unter 0,5 μ zu ermitteln, also gerade in dem bisher schwer zugänglichen Gebiet, welches wegen seiner hohen Dispersität in besonderem Maße die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Tones beeinflußt.

Wie an anderen Stellen schon gezeigt wurde, ist die Bestimmung von Kaolinit in Tonen im übermikroskopischen Bilde nach der *Formenentwicklung* der Kristalle sicher möglich. Die Bedingungen für die scharfe Abbildung der Kaolinkriställchen im Siemens-Übermikroskop liegen bei einer unmittelbaren linearen Vergrößerung der Teilchen von 20000—30000fach und einem Auflösungsvermögen von 5—10 mμ dafür sehr günstig. Die deutliche Erkennbarkeit der Kristallformen, also vor allem die Abbildung der Kristallkanten, ist innerhalb der theoretisch gegebenen Grenzen eine so vorzügliche, daß Teilchen von 30 mμ Durchmesser noch deutlich als hexagonale Individuen zu erkennen sind; die von B. VON BORRIES und G. A. KAUSCHE [Kolloid-Z. **90**, 132ff. (1940)] gegebene und an Goldsolen erprobte Beziehung des Auflösungsvermögens zu der Größe gut erkennbarer Polygone läßt voraussehen, daß bei Kaolinteilchen unter günstigen Umständen auch noch wesentlich kleinere Teilchen als Kristalle bestimmt werden können, so z. B. eine trigonale Ausbildung, wie sie nicht selten vorkommt (s. u.).

Die erste Voraussetzung, die bei quantitativ auszuwertenden übermikroskopischen Aufnahmen erfüllt sein muß, ist die einer möglichst weitgehenden *Zerteilung* der im rohen Ton vorliegenden Sekundärteilchen in die Primärpartikeln; es wurde im vorliegenden Fall nach dem von C. W. CORRENS [Kolloid-Z. **61**, 77ff. (1932), ODÉNsche „Normalmethode"] und seinen Schülern angegebenen Dispersionsverfahren gearbeitet; als Dispersionsmedium diente eine 0,01 n $\cdot NH_4OH$-Lösung, welche vor den oft empfohlenen Zu-

[1]) Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung in Berlin-Dahlem und dem Laboratorium für Elektronenoptik der Siemens & Halske Aktiengesellschaft in Berlin-Siemensstadt. Eingegangen am 6. April 1940.

sätzen von Salzen, wie Natriumpyrophosphat u. dgl., den wesentlichen Vorzug besitzt, daß sie bei der Herrichtung des übermikroskopischen Präparates auf der Kollodiumfolie keinen Rückstand hinterläßt. Wenn es in Sonderfällen nicht gelingt, alle Sekundärteilchen aufzuteilen, so bietet doch die übermikroskopische Beobachtung die Möglichkeit, den Aufbau eines solchen größeren Teilchens aus Primärkristallen zu beurteilen, wofür Fig. 1 an einem Sekundärteilchen aus Großalmeroder Ton ein gutes Beispiel gibt. Die Möglichkeit, derartige Teilchen noch weiter zu dispergieren, ist bei Tonen durchaus gegeben; an anderen Orten werden indessen Mitteilungen über Sekundärteilchen gemacht, die durch Sinterung hochdispersen Materials zu gröberen Teilchen entstanden sind und infolgedessen auch einer energischen Verteilungsmaßnahme zu widerstehen vermögen.

Die zweite Hauptbedingung für das gute Gelingen der quantitativen Auswertung einer übermikroskopischen Aufnahme zur Bestimmung von Korngrößenverteilungen ist die, daß die Teilchen nicht zu nahe aneinanderliegen, sich nicht zu oft überdecken, und daß tunlichst auch keine zu großen Unterschiede ihrer Größe bestehen. Für die im vorliegenden Fall gebrauchte starke Vergrößerung des Übermikroskops ist ein Durchmesser von 0,5 μ die obere Grenze der Vermessung; es besteht beim Siemens-Übermikroskop aber leicht auch die Möglichkeit, anstatt mit einer Vergrößerung von 20000—30000fach linear mit einer solchen von nur 5000—10000fach zu arbeiten, so daß dann auch Teilchen vermessen werden können, welche sich in ihren größten Abmessungen direkt an die gewöhnlichen lichtmikroskopischen Bestimmungen anschließen. Teilchen von 0,5 μ Durchmesser und darüber sind freilich auch bei Kaolinit meist im übermikroskopischen Bilde als undurchsichtige Tafeln abgebildet, da Elektronenstrahlen von etwa 80 kV Geschwindigkeit sie nicht mehr durchdringen; will man auch sie noch näher in ihrer Struktur untersuchen, so müßte man mit höherer Spannung (100 kV und mehr) arbeiten, was aus diesem Grunde wünschenswert wäre.

Nach unten ist die Grenze einer guten Messungsmöglichkeit nur durch das Auflösungsvermögen des Übermikroskops gegeben; Teilchen von 5 mμ sind noch nachweisbar; zur Vermessung wurden im vorliegenden Falle solche von 10 mμ aufwärts herangezogen, die sich mit einer für die vorliegende Untersuchung befriedigenden Genauigkeit noch mühelos bestimmen ließen.

Im allgemeinen liegen Tonsedimente, die übermikroskopisch vermessen werden sollen, in Gestalt von Fraktionen vor, wie sie sich bei der Schlämmanalyse, z. B. nach dem ATTERBERGschen Verfahren, in gewissen Grenzen der Korngrößen ergeben. Die Fraktionen unter 0,5 μ sind für die übermikroskopische Messung die geeignetsten; sie können noch weiter fraktioniert werden, z. B. durch Zentrifugieren (s. u.).

Als Beispiel dieser Art ist in Fig. 2 eine Atterberg-Fraktion des Großalmeroder Glashafentons wiedergegeben, welche Teilchen feiner als 0,3 μ Durchmesser zeigt; sie ist *typisch polydispers* (über Korngrößenverteilung bei annähernd monodispersen Fraktionen wird an anderer Stelle berichtet). Die scharf ausgebildeten Kaolinitkriställchen, deren hexagonale Form selbst bei Teilchen von nur 20 mμ Größe noch gut zu erkennen ist, machen das Präparat zur Durchführung eines Beispiels quantitativer Ausmessung besonders geeignet. Zu diesem Zweck wurden die im Gesichtsfeld befindlichen diskreten Teilchen in Richtung der Durchmesser auf einer schwach nachvergrößerten Papier-

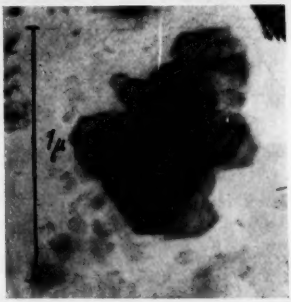


Fig. 1. III 170/40. Sekundärteilchen aus Großalmeroder Ton; elektronenoptische Vergrößerung 20000:1, nachvergrößert auf 40000:1.

kopie (Vergrößerung 43000:1) mit dem Maßstab gemäß der Prinzipskizze Fig. 3 vermessen; da neben gut ausgebildeten Sechsecken (*a*) eine verhältnismäßig kleine Zahl von Teilchen auch verzerrte Formen aufweist, z. B. länglich-nadelige Gebilde vorkommen können (*b*), wurde zum Ausgleich der Häufigkeiten bei diesen die lange Diagonale zweimal, die kurze einmal angerechnet.

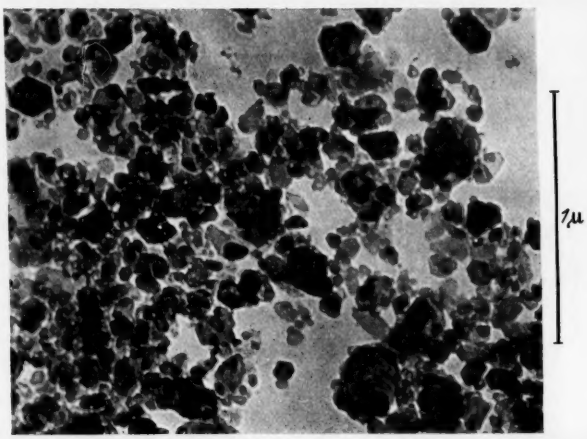


Fig. 2. III 131/40. Großalmeroder Glashafenton, Atterberg-Fraktion $< 0{,}3\ \mu$ Durchmesser; elektronenoptische Vergrößerung 20000:1, nachvergrößert auf 43000:1. Ausschnitt aus dem ausgemessenem Bild.

Ein solches Verfahren rechtfertigt sich aus der bisherigen Gepflogenheit, z. B. bei der Siebanalyse, langgestreckte Teilchen entsprechend der hauptsächlichen Dimensionsentwicklung in die betreffende *größere* Siebklasse einzurechnen; *flächenmäßig* würden solche

Teilchen freilich einer *niedrigeren* Klasse zugehören. Es ergibt sich alsdann aus dem großen Zahlenmaterial (2130 Messungen an 710 Teilchen) die in der Tabelle 1 wiedergegebene Zahlenstatistik der Durchmesser, welche die Teilchen in fünf Klassen unterteilt, in welche sie leicht einzuordnen waren. Die entsprechende Verteilungskurve der Durchmesser Fig. 4

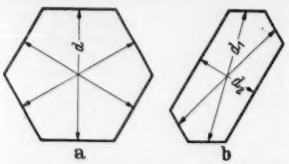


Fig. 3. Prinzipskizze zur Messung von Kaolinblättchen in Tonen.

weist in ihrem Charakter eine Häufigkeit der Durchmesser auf, die von den größeren zu den kleineren Werten stetig mit einem Maximum für die Klasse IV (30—60 mμ) ansteigt, sie hat also naturgemäß nicht den Charakter einer annähernd monodispersen Fraktion. Es bleibt einer späteren Mitteilung vorbehalten, an

nung auf die *Oberflächen-Verteilungskurve* ergänzt werden, die für die kolloid-chemische Beurteilung der

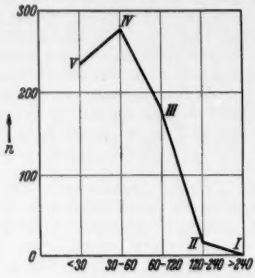


Fig. 4. Verteilungskurve der Durchmesser.

Oberflächenwirkung eines Tones wie Bildsamkeit, Adsorptionsvermögen usw. kennzeichnend ist. Die Bestimmung der Oberflächenverteilung kann direkt aus der Tabelle 1 erhalten werden, wenn man unter Berücksichtigung der hexagonalen Kristallform die Flächengrößen berechnet, welche den erwähnten

Tabelle 1. Statistische Werte für die Durchmesser der Teilchen.

Auf dem Papierbilde	Klassen I	II	III	IV	V
d in mm	> 10	10—5	5—2,5	2,5—1,25	< 1,25
in mμ	>240	120—240	60—120	30—60	<30
Zahl der Messungen . . .	5	49	545	826	705
Zahl der Teilchen	1,7	16,3	181,7	275,3	235
(Insgesamt 710)	(0,2%)	(2,3%)	(25,6%)	(38,8%)	(33,1%)

Tabelle 2. Berechnung von Oberfläche und Volumen der Teilchen.

Auf dem Papierbilde	Klassen I	II	III	IV	V
Mittlere d-Werte zur Berechnung der Oberfläche in mμ	360	180	90	45	22,50
Oberfläche O_1 der hexagonalen Tafeln, Basis allein (oben und unten) in μ^2	*0,382*	*0,916*	*2,543*	*0,965*	*0,206*
Oberfläche der prismatischen Seitenflächen, Höhe = d/10 angenommen, in μ^2	0,076	0,183	0,509	0,193	0,041
Gesamt-Oberfläche O_2 in μ^2	*0,458*	*1,099*	*3,052*	*1,158*	*0,247*
Gesamt-Volumen (Höhe der Prismentafeln = d/10 angenommen)	*6,87*	*8,24*	*11,5*	*2,17*	*0,23*
in $10^6 \cdot m\mu^3$	(23,7%)	(28,4%)	(39,5%)	(7,5%)	(0,8%)

einem Ton eine vollständigere Verteilungsdiskussion auf übermikroskopischer Grundlage zu geben. Endlich besteht die Möglichkeit der Heranziehung feinster Fraktionen nach anderen Verfahren als der ATTERBERGschen Methode, so z. B. von Fraktionen, die mit der Zentrifuge und Überzentrifuge, der ANDREASENschen Pipettiermethode u. dgl. gewonnen sind.

Selbstverständlich reicht eine Verteilungskurve der *Durchmesser* zur quantitativen Beurteilung eines Tones nicht aus, sie muß durch eine entsprechende Umrechnung in Durchmesserklassen entsprechen; im Prinzip ist dabei die Rechnung analog derjenigen, welche B. VON BORRIES und G. A. KAUSCHE in der eingangs erwähnten Arbeit bei kugelförmig angenommenen Teilchen von Goldhydrosolen angewandt haben. Auf dieser Grundlage ist in der Tabelle 2 angegeben, wie sich aus den statistischen Zahlenwerten für die Durchmesser die entsprechenden Werte für Oberflächengröße ergeben.

Vorläufig ist es noch nicht möglich, genaue Messungen der *Dicke* der Teilchen mit solchen Oberflächen-

werten zu verbinden und etwa die Gewichte der einzelnen Fraktionen zu berechnen, wie dies bei den üblichen gravimetrischen Verfahren zur Bestimmung der Korngrößenverteilung der Fall ist. Nur durch *Schätzung* läßt sich heute wenigstens eine Vorstellung von diesen Dickenwerten insofern gewinnen, als bei Kaolinkriställchen der in Fig. 3a gezeigten Art bei gelegentlicher Hochkantlagerung ein Verhältnis 1:10 der Dicke zum Durchmesser gefunden wird; selbstverständlich ist eine solche Verhältniszahl nicht allgemein zu gebrauchen, sie ermöglicht aber, ein *angenähertes* Bild vom *Volumen* eines solchen Teilchens zu erhalten (vgl. Tabelle 2). Die Oberflächenwerte, die man bei Berücksichtigung auch der Seitenflächen der Kriställchen berechnen kann, unterscheiden sich von den in Tabelle 1 angegebenen Zahlenwerten bei Verhältnis 1:10 jedoch nur um einen Mehrbetrag von etwa $^1/_5$. In Fig. 5 ist zuletzt auf Grund der prozentischen Volumina der Größenklassen die Summenkurve gegeben.

Die sehr zeitraubende und ermüdende Arbeit der Auszählung und Ausmessung der Teilchen auf einem übermikroskopischen Bild macht den Wunsch verständlich, durch mechanische Hilfsvorrichtungen die Arbeit abzukürzen und zu vereinfachen. Im Falle der Untersuchung von Tondispersionen liegt es nahe, die bei der Integration der Mineralkörner im Gesteinsverbande bewährten Zählvorrichtungen auf die vorliegenden Aufgaben zu übertragen. In einer späteren Mitteilung wird über eine solche Untersuchung mittels des Sigma-Integrationsgerätes berichtet werden können.

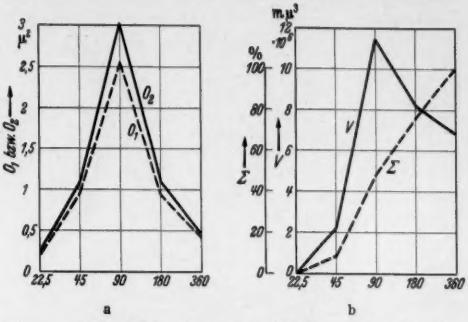


Fig. 5. a) Verteilungskurve der Flächengröße, O_1 Gesamtoberflächen berechnet allein für die Tafeln; O_2 dgl. mit Berücksichtigung der Seitenflächen; b) Verteilungskurve der Volumenwerte (V) und Summenlinie der Mengenzusammensetzung in % (Σ).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über den Nachweis von Molekülen des Tabakmosaikvirus in den Chloroplasten viruskranker Pflanzen.

Die Tatsache, daß bei der Virose des totalreagierenden Typs der Tabakmosaikkrankheit eine mehr oder minder ausgeprägte Schädigung des Chloroplastenapparates festzustellen ist, zwingt dazu, nach Beziehungen zwischen der Chloroplastensubstanz und dem Virusprotein zu suchen. Als erster Hinweis, daß solche Beziehungen bestehen, wurden mit dem Siemens-Übermikroskop nach E. Ruska und B. v. Borries an isolierten Grana aus Chloroplasten viruskranker Tabakpflanzen die Stäbchenmoleküle des Tabakmosaikvirusproteins gefunden. Bei Granapräparaten aus gesunden Pflanzen fehlen sie.

Prüft man Chloroplastensuspensionen aus viruskranken Pflanzen auf ihren Virusgehalt, so zeigt sich im Testversuch

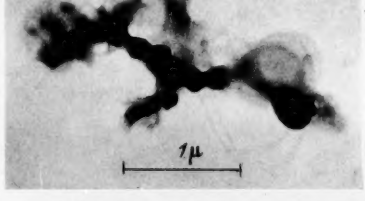


Fig. 1. III 25/40. Grana und Virusproteinmoleküle mit Chloroplastenstroma. El. opt. 19000:1.

auf Datura stramonium, daß die Flüssigkeit, die vorwiegend unverletzte Chloroplasten enthält, fast keine Reaktion ergibt. Durch Zerstörung der Chloroplasten freigelegte Chloroplastensubstanz ist dagegen immer hoch aktiv. Fig. 1 zeigt eine Reihe von Grana, die durch Chloroplastensubstanz zusammengehalten sind. An ihr bemerkt man die stäbchenförmigen Einheiten des Tabakmosaikvirusproteins.

Es sei darauf hingewiesen, daß die den Versuchen zugrunde liegenden Präparate nicht aus Ammonsulfatfällungen stammen, sondern im wesentlichen durch Differentialzentrifugieren von Chloroplastenaufschwemmungen gewonnen worden sind. Die nach der Ammonsulfatmethode gewinnbaren Stäbchenmoleküle sind also größenordnungsmäßig mit denjenigen identisch, die bei Lebendpräparaten in den Chloroplasten zu finden sind.

Sowohl die quantitativen Untersuchungen über den Virusgehalt in den Chloroplasten als auch die elektronenoptischen Beobachtungen legen nahe, daß zwischen der Chloroplastensubstanz, also wahrscheinlich ihrer Eiweißkomponente, und dem Virusprotein eine bestimmte, wohl im verwandten Chemismus liegende Beziehung bestehen muß.

Berlin-Dahlem, Dienststelle für Virusforschung der Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft und Berlin-Siemensstadt, Laboratorium für Übermikroskopie der Siemens & Halske A.-G., den 16. April 1940.
G. A. Kausche. H. Ruska.

Zur Frage der Chloroplastenstruktur.

Das Problem der Chloroplastenstruktur ist in jüngerer Zeit von Küster (1933, 1935), Menke (1934 bis 1940), Ullrich (1936), Weber (1937), Frey-Wyssling (1938), Bot (1939) u. a. unter Anwendung der Polarisationsmikroskopie und der UV.-Mikroskopie neu diskutiert worden. Menke fand, daß die von Scarth entdeckte negative Doppelbrechung auf Formanisotropie beruht. Nach Frey-Wyssling soll das Grundprinzip der Chloroplastenstruktur in einer laminaren Flächenentwicklung bestehen, bei der bimolekulare Lipoidschichten und dickere Proteinschichten die scheibenförmigen Grana zusammensetzen. Die Lamellenstruktur wird also in die Grana hineinverlegt. Menke verbindet nach seinen UV.-Aufnahmen bei Anthoceros die Grana mit der Chloroplastensubstanz, also dem Stroma, in dem Sinne, daß sie knotenartige Verdickungen, infolge einer inhomogenen Verteilung gewisser Komponenten innerhalb der Lamellenlagen darstellen sollen. Für die Gesamtstruktur der Chloroplasten wird offengelassen, ob sie aus durchgehenden Lamellen bestehen, oder ob ein aus plättchenförmigen Einzelteilchen mit bevorzugt flächiger Orientierung aufgebautes System vorliegt.

Bei unseren Untersuchungen über die Beziehungen der Virusproteine zum Chloroplasteneiweiß fanden wir mit dem

übermikroskopischen Verfahren ein Formelement, dessen Existenz bei der Erörterung der Chloroplastenstruktur auf Grund lichtmikroskopischer Untersuchungen nicht berücksichtigt werden konnte. Fig. 1 von Chloroplasten zeigt in der Aufsicht große, scheibenartige, gleichmäßig dicke, strukturlos erscheinende Gebilde, die in der Chloroplastenebene orientiert sind. Der Durchmesser dieser Scheiben wechselt stark (0,4 bis 2,5 μ), während die Dicke der einzelnen Scheiben mit etwa 10 bis 20 mμ gleichbleibend ist. Dieses scheibenförmige Element scheint uns für die polarisationsoptisch nachweisbare Lamellenstruktur der Chloroplasten von entscheidenderer Bedeutung zu sein, als die Anordnung der Grana oder deren fragliche Eigenstruktur.

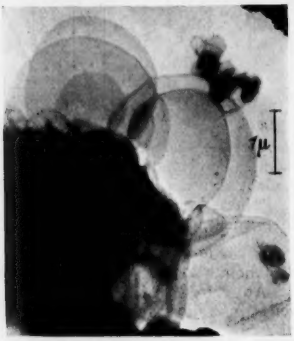


Fig. 1. III 109/40. Rand eines Chloroplasten von Nicotiana tabacum mit großen und kleineren, mehrfach übereinanderliegenden Scheiben. El. op. 10000:1.

Bemerkenswert ist, daß dieses scheibenförmige Element in 2 Dimensionen im lichtoptischen Auflösungsbereich liegt, jedoch wegen des geringen Ausmaßes der dritten Dimension dem direkten lichtoptischen Nachweis unzugänglich bleibt. Über die chemischen Eigenschaften dieser Gebilde ist einstweilen nur soviel zu sagen, daß sie in reinem Chloroform nicht oder nicht völlig löslich sind.

Auf Grund dieser ersten orientierenden Beobachtungen bereits ein weiteres Schema über die vermutliche Chloroplastenstruktur zu geben, halten wir für verfrüht, da insbesondere auch die Beziehungen zwischen Stroma und Grana noch keineswegs als geklärt angesehen werden können.

Berlin-Dahlem, Dienststelle für Virusforschung der Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft und Berlin-Siemensstadt, Laboratorium für Übermikroskopie der Siemens & Halske A.-G., den 16. April 1940.
G. A. Kausche. H. Ruska.

Ein neuer Strukturtyp bei den 12-Heteropolysäuren.

Von der Phosphorwolframsäure, die in der biologischen Chemie ein wichtiges Fällungsmittel für Alkaloide und Eiweißstoffe darstellt, sind jetzt folgende 5 Hydrate bekannt:

$H_3[P(W_3O_{10})_4] \cdot n\, H_2O$ mit n = 5 (kubisch)
n = 14 (triklin)
n = 21 (rhombisch)
n = 24 (trigonal)
n = 29 (kubisch).

In früheren Mitteilungen[1]) konnten wir auf Grund von Röntgenuntersuchungen zeigen, daß sich die zahlreichen in der Literatur beschriebenen Hydrate der 12-Phosphorwolframsäure allein auf die oben angegebenen Verbindungen zurückführen lassen. Ferner ergab sich die enge strukturelle Verwandtschaft zwischen 14-, 24- und 29-Hydrat, die sich in der diamantgitterähnlichen Anordnung der Anionenkomplexe und der „Wasserkationen" bei ganz ähnlichen Gitterdimensionen äußert. Da die Stellung des *rhombischen 21-Hydrats* innerhalb einer früher angegebenen strukturellen Klassifikation[2]) der 12-Heteropolysäuren noch ungeklärt ist, haben wir nun auch für diese Verbindung röntgenographische Messungen an Einkristallen durchgeführt (CuK_α-Strahlung; Kameraradius $r = 57{,}3$ mm).

Kristallform: Die rhombische Phosphorwolframsäure kristallisiert in nadeligen, bisweilen auch in bis zu 4 mm dicken säulenförmigen Kristallen der Kombination {100} + {210} + {010} + {001}. Das Pinakoid {010} ist nur selten vorhanden. Winkel (100):(210) = 38°32′. Wie bei dem triklin-pseudokubischen 14-Hydrat spalten die Kristalle nach (100), (010) und (001).

Kristallgitter: Aus Schichtlinienabständen, sowie aus Äquatorreflexionen wurden folgende Gitterkonstanten ermittelt:

$a = 20{,}84$ Å,
$b = 13{,}07$ Å,
$c = 18{,}95$ Å.

Mit diesen Werten konnte das goniometrisch nur unvollständig ermittelbare Achsenverhältnis ergänzt werden. Man erhält $a : b : c = 1{,}5945 : 1 : 1{,}4499$. Das Vorhandensein von Reflexionen hkl mit ungerader Indizessumme, sowie die Indentitätsabstände in den Richtungen [110], [101] und [011] zeigten, daß der Elementarkörper keinerlei Zentrierungen aufweist. In ihm sind 4 Moleküle der Zusammensetzung $H_3[P(W_3O_{10})_4] \cdot 21\, H_2O$ und dem pyknometrisch bestimmten spezifischen Gewicht 4,14 enthalten. Eine Prüfung der Kristalle auf Piezoelektrizität nach Giebe-Scheibe gab wegen ihrer Leitfähigkeit keinen Hinweis auf die Klassenzugehörigkeit. Bei Annahme rhombisch-dipyramidaler Symmetrie führten die aus der Statistik der Reflexionen ermittelten Auslöschungsgesetze zu der vorläufigen Raumgruppe $D_{2h}^3 - Pccm$. Hierbei müßte eine zusätzliche, durch die besondere Anordnung der Atome bedingte Auslöschung der ungeraden Ordnungen von $h\,o\,o$ angenommen werden.

Folgerungen: Das Kristallgitter der rhombischen Phosphorwolframsäure weist zu jenem der übrigen Hydrate nur geringe Beziehungen auf. Die Elementarzelle ist nicht mehr flächenzentriert pseudokubisch oder kubisch; sie besitzt lediglich noch eine pseudotetragonale Zone, in der allerdings die Gitterkonstanten mit zweien des triklinen 14-Hydrats weitgehend übereinstimmen. ***Es handelt sich also hier um einen eigenen, bei den 12-Heteropolysäuren bisher noch nicht beobachteten Strukturtyp,*** der auch bei der chemisch und strukturell analogen Phosphor*molybdän*säure nicht bekannt ist. Während das 24- und das 29-Hydrat der Phosphorwolframsäure trotz ihres beträchtlichen Unterschieds im Wassergehalt strukturell sehr nahestehen, sind zwischen dem hier untersuchten 21-Hydrat und dem trigonalen 24-Hydrat bei geringerem Unterschied nur undeutliche Beziehungen vorhanden. Etwas enger ist die Verwandtschaft zu dem bedeutend wasserärmeren triklinen 14-Hydrat, die sich nicht nur in der gleichartigen Spaltbarkeit, sondern auch in der beträchtlichen Ähnlichkeit der Netzebenenabstände $d_{(100)}$, $d_{(010)}$ und $d_{(001)}$ äußert. Zweifellos liegt auch der rhombischen Phosphorwolframsäure dasselbe Komplexion $[P(W_3O_{10})_4]$*) wie den übrigen Hydraten zugrunde, jedoch mit einer Variation in der Anordnung, was aus der Art der Translationsgruppe und der Zahl der Moleküle in der elementaren Einheit hervorgeht. Das ausführliche Ergebnis der Untersuchung kann aus äußeren Gründen erst später mitgeteilt werden.

München, Mineralogisches Institut der Universität, den 21. April 1940. O. Kraus.

*) Aus der von Keggin[3]) angegebenen Struktur dieses Komplexes ergeben sich zwangsläufig *drei* ionisierte Wasserstoffatome. Jedoch liegt wie bei der Kieselwolframsäure, die nach unseren Untersuchungen mindestens achtbasisch ist [Naturwiss. 27, 740 (1939)], wahrscheinlich auch hier höhere Basizität vor. Dies würde der Janderschen Auffassung über die Konstitution der 12-Heteropolysäuren entsprechen[4]). Aus *räumlichen* Gründen kann aber im Kristallgitter der 12-Heteropolysäuren nur ein Teil der tatsächlich vorhandenen H-Ionen durch Kationen ersetzt werden, wodurch die niedrigere Basizität vorgetäuscht wird.

[1]) O. Kraus, Z. Kristallogr. A 94, 256 (1936); 100, 405 (1939).
[2]) O. Kraus, Fortschr. Min. Krist. 21, 65 (1937).
[3]) J. F. Keggin, Proc. roy. Soc. Lond. A 144, 75 (1934).
[4]) G. Jander u. K. F. Jahr, Kolloid-Beih. 41, 297 (1935).

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Fritz Süffert, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.